

Desain Dan Implementasi Sistem Pendeteksi Dini Bencana Longsor Pinggir Sungai Menggunakan Sensor Adxl345 Berbasis Lora Sebagai Media Komunikasi

Design And Implementation System Of Early Detection Of Riverside Landslides Using Adxl345 Sensor As A Lora Communication Media

1st Rasyid Efendi Lubis
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
rasyiidlubis@student.telkomu
niversity.ac.id

2nd Umar Ali Ahmad
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
umar@telkomuniversity.ac.id

3rd Randy Erfa Saputra
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
randyerfa@telkomuniversity.
ac.id

Abstrak

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di kawasan Indonesia. Bencana ini biasanya sering terjadi di daerah pegunungan, bukit, lereng yang curam, maupun tebing. Tak jarang tanah longsor juga terjadi di ditanah pinggiran sungai yang posisinya terletak di tanah miring ataupun curam. Maka dari itu, perlu diciptakan sistem mendeteksi dini tanah longsor pinggir sungai. Kemiringan tanah, pergeseran tanah, yang merupakan penyebab utama terjadinya tanah longsor.

Untuk mengukur parameter tersebut, digunakan sebuah sistem berbasis Internet of things (IoT) yang terhubung dengan sensor. Pada penelitian ini, nilai dari sensor ADXL345 mengukur nilai kemiringan dan getaran tanah yang berbasis LoRa. Dalam hal ini, nilai ADXL345 digunakan untuk menganalisis hasil deteksi sensor tersebut dengan dua keputusan akhir, yaitu aman, dan peringatan yang dapat dilihat pada histori data *website* dan modul GSM, lalu mengirimkan notifikasi berupa SMS

peringatan kepada nomor GSM penerima.

Sensor ADXL345 getaran berhasil membaca nilai skala *richter*. Sensor ADXL345 kemiringan berhasil membaca nilai derajat, dan memiliki nilai rata-rata *error* 0,236%. Dan berdasarkan pengujian pada sistem ini LoRa *transmitter* dapat mengirimkan data ke LoRa *receiver* dengan respon waktu 1 sampai dengan 5 detik(s).

Kata kunci : ADXL345, IoT, Longsor, LoRa.

Abstract

Landslides are one of the natural disasters that often occur in Indonesia. This disaster usually occurs in mountainous areas, hills, steep slopes, and cliffs. Not infrequently landslides also occur on riverbanks whose position is on sloping or steep land. Therefore, it is necessary to create a system for early detection of riverside landslides. The slope of the land,

the shift of the ground, which is the main cause of landslides.

To measure these parameters, an Internet of things (IoT) based system is used which is connected to sensors. In this study, the value of the ADXL345 sensor measures the value of slope and ground vibration based on LoRa. In this case, the ADXL345 value is used to analyze the results of the sensor detection with two final decisions, namely safe, and a warning that can be seen on the website data history and GSM module, then sends a notification in the form of a warning SMS to the recipient's GSM number. The ADXL345 vibration sensor successfully reads the Richter scale value. The ADXL345 tilt sensor successfully reads the degree value, and has an average error value of 0.236%. And based on testing on this system the LoRa transmitter can send data to the LoRa receiver with a response time of 1 until 5 seconds.

Keywords: ADXL345, IoT, Landslide, LoRa.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dari Sabang sampai Merauke dan di setiap daerah karakteristik geografisnya berbeda-beda. Keadaan ini adalah salah satu masalah yang dihadapi Indonesia yaitu penanggulangan bencana alam, yang salah satunya merupakan bencana longsor. Bencana longsor juga sering terjadi di pinggir sungai, yang mengakibatkan sering terjadi longsor sekaligus banjir. Pada tahun 2019 menurut BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) mencatat, sudah terjadi 355 bencana tanah longsor di Indonesia yang menimbulkan banyak korban jiwa, rusaknya jalan perumahan penduduk dan fasilitas-fasilitas umum yang berada di sekitar lokasi longsor[1].

Menurut data di atas, dapat disimpulkan bahwa dampak bencana longsor menimbulkan banyak kerugian. Untuk mengatasi dampak tersebut diperlukan sistem peringatan dini bencana longsor di sekitar sungai agar masyarakat dapat mengetahui tanda-tanda terjadinya longsor dan mendapatkan peringatan bahaya longsor. Dengan adanya alat pendeteksi dini bencana longsor, longsor yang terjadi di pinggir sungai dapat diantisipasi dan masyarakat lebih siap untuk menghadapi longsor dan mengurangi dampak kerugian dari tanah longsor tersebut[2].Maka dari itu untuk

mendeteksi bencana longsor tersebut alat pendeteksi yang akan dibuat ini akan membantu mendeteksi getaran pada tanah, lalu akan mengukur parameter kemiringan pada tanah yang berada di pinggir sungai. Hal ini diperlukan dikarenakan penyebab terjadinya tanah longsor di pinggir sungai selalu diakibatkan oleh kemiringan tanah dan getaran pada tanah, semakin curam kemiringan tanah dan semakin besar getaran yang terjadi semakin berpotensi terjadinya bencana longsor. Apabila tiba-tiba terjadi tanah longsor dalam waktu yang sangat singkat maka alat pendeteksi pun akan mengirimkan notifikasi ke LoRa receiver. Berdasarkan latar belakang di atas, maka tugas akhir ini disimulasikan pendeteksi longsor pinggir sungai yang menggunakan LoRa, sensor getar, dan kemiringan ADXL345 untuk mendeteksi tanah longsor. LoRa digunakan mengirimkan data dari sensor ADXL345.

II. KAJIAN TEORI

A. Tanah Longsor

Tanah longsor pinggir sungai merupakan suatu aktivitas dari proses gangguan keseimbangan yang menyebabkan Bergeraknya massa tanah dan batuan dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Adapun beberapa faktor-faktor penyebab terjadinya tanah longsor seperti lereng terjal, kepadatan tanah, jenis batuan, jenis tata lahan, dan adanya getaran[4].



Gambar 2.1 Gambar Bencana Longsor Kota Bandung merupakan salah satu dari 38 Kota/Kabupaten yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap terjadinya tanah longsor[5]. Daerah rawan akan timbulnya bencana tanah longsor dapat diidentifikasi dengan menggunakan parameter-parameter penyebab tanah longsor di antaranya jenis tanah, ketinggian, kemiringan lereng, dan tutupan lahan.

Banyak faktor terjadinya longsor, meliputi kondisi geologi dan hidrologi, iklim dan perubahan cuaca yang mempengaruhi

stabilitas lereng yang mengakibatkan terjadinya longsor. Kestabilan lereng yang dipengaruhi secara alami, contohnya: pelapukan, hujan lebat atau hujan tidak begitu lebat tapi berkepanjangan, adanya lapisan lunak dan lain-lain. Kestabilan lereng yang dipengaruhi oleh aktifitas manusia, contohnya: penggalian di kaki lereng, pembangunan di permukaan lereng dan pada saat ini terjadinya longsor disebabkan dengan meningkatnya aktifitas pembangunan dan jumlah penduduk di daerah pegunungan. Dan akan menjelaskan lebih lanjut terjadinya longsor[6].

B. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah sebuah ekosistem elektronik dimana alat-alat adalah Skala Richter (*Richter Scale*).

Pseudocode yang digunakan pada program sensor ADXL345 getaran sebagai

```
float xrate=(float)abs(Xout-lastXOut)*10000.0/(float)deltatime/10.0;
float yrate=(float)abs(Yout-lastYOut)*10000.0/(float)deltatime/10.0;
float zrate=(float)abs(Zout-lastZOut)*10000.0/(float)deltatime/10.0;
float x = (pow(xrate,2)); // proses pangkat nilai x
float y = (pow(yrate,2)); //y
float z = (pow(zrate,2)); //z
float xyzrate = x + y + z;//
float akarxyz = sqrt(xyzrate);
```

$$x = (x_2 - x_1) \times 10000 \div \text{delay} \div 10$$

$$y = (y_2 - y_1) \times 10000 \div \text{delay} \div 10$$

$$z = (z_2 - z_1) \times 10000 \div \text{delay} \div 10$$

$$xyz = x^2 + y^2 + z^2$$

$$SR = \sqrt{xyz}$$

C. Persamaan Kemiringan Radian ke Derajat

Radian dan derajat adalah dua satuan yang digunakan untuk mengukur sudut. Lingkaran terdiri dari 2π radian, yang setara dengan 360° ; kedua nilai ini melambangkan "satu kali keliling" lingkaran. Dengan

:

```
float m = Y_out2 / Z_out2; //pembagian nilai Y dan Z
float t = atan(m) * 57.296; //hasil bagi dikali dengan 57.296
```

$$m = \frac{y}{z}$$

$$t = \tan^{-1}(m) \times 57.296$$

elektroknik yang contohnya kulkas, kamera, peralatan medis, dan sensor semuanya terhubung ke internet. IoT meningkatkan interaksi antara barang-barang elektronik dengan manusia, IoT juga meningkatkan kualitas sumber daya dan juga meningkatkan kualitas kehidupan. IoT mendukung integrasi, transfer, dan analisis data yang dihasilkan dari sensor[8].

D. Magnitudo Getaran Tanah

Magnitudo getaran tanah adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber getaran tanah. Besaran ini akan bernilai sama, meskipun dihitung dari tempat yang berbeda. Skala yang kerap digunakan untuk menyatakan magnitudo getaran tanah ini

berikut:

demikian, 1π radian melambangkan keliling lingkaran sejauh 180° , sehingga nilai $180/\pi$ menjadi sarana konversi yang sempurna untuk mengubah radian menjadi derajat[17]. *Pseudocode* yang digunakan pada program sensor ADXL345 untuk Kemiringan sebagai berikut

III. METODE

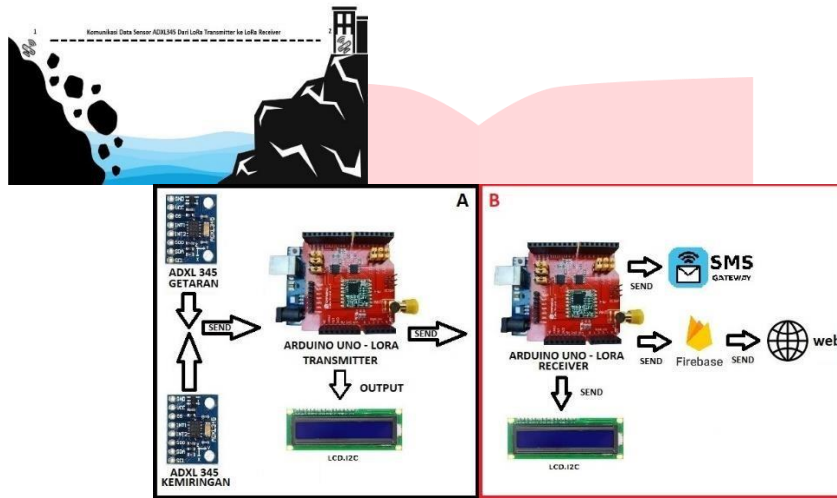
A. Desain Sistem

Pada perancangan sistem peringatan dini tanah longsor pinggir sungai terdiri dari dua buah sensor ADXL345. Proses pada gambar desain sistem ini, sensor diletakkan di pinggir sungai yang mana setiap sensor berfungsi mengukur getaran dengan satuan skala *richter* dan mengukur nilai kemiringan tanah dengan satuan derajat pada tanah yang terdapat dipinggir sungai dan komunikasi data menggunakan LoRa.

Gambar 3.1 Titik Lokasi LoRa transmitter(1), LoRa receiver(2)

B. Diagram Blok

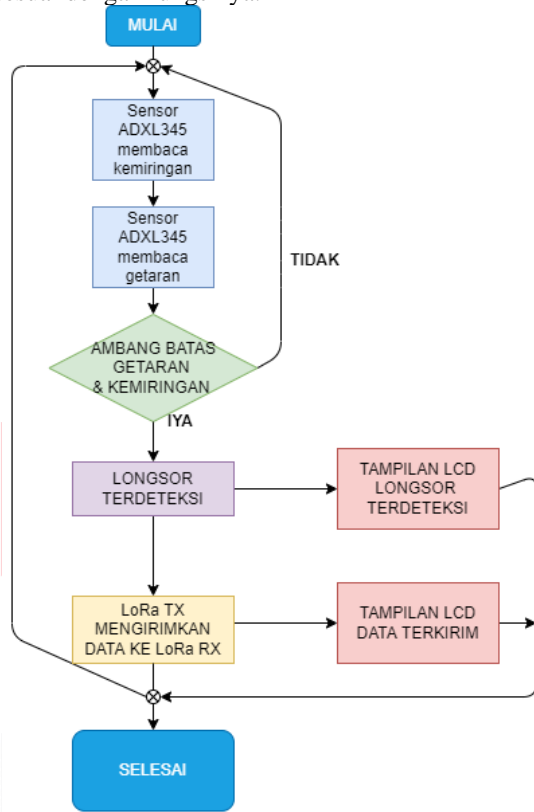
Diagram blok pada Gambar 3.2 dimulai dengan membaca parameter di dua sensor tersebut, yaitu sensor ADXL345 yang membaca getaran pada tanah dan membaca kemiringan tanah. Setelah itu informasi dari kedua sensor diolah oleh mikrokontroler, dan informasi data langsung dikirimkan ke LoRa *transmitter* untuk diteruskan ke LoRa *receiver* dan di-*broadcast* ke SMS Gateway lalu dimonitoring.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Pendeteksi Dini Longsor

C. Flowchart

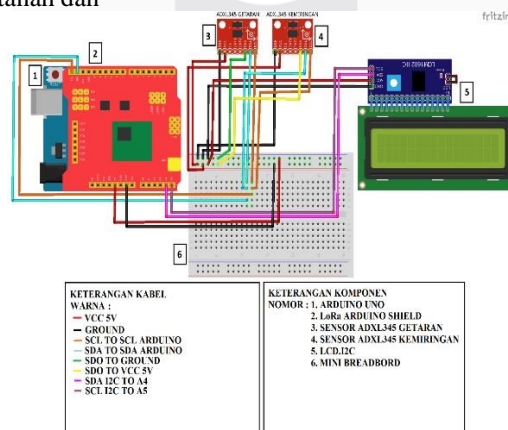
Berikut merupakan tahapan sistem perangkat yang digunakan dalam pembuatan Sistem pendeteksi longsor pinggir sungai. Mulai dari pembacaan nilai kemiringan lalu selanjutnya membaca nilai getaran sesuai dengan fungsinya.



Gambar 3.3 Flowchart Alur Kerja Sistem

D. Skematik Sistem Perancangan Alat
 Skematik perancangan alat yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah menggunakan 2 Sensor ADXL345 sebagai sensor pembaca getaran tanah dan

kemiringan tanah, Arduino UNO sebagai Mikrokontroler yang membaca data dari sensor dan mengirimkan data tersebut ke LoRa transmitter menuju LoRa receiver.



Gambar 3.4 Skematik Sistem Perancangan Alat.

1. Pemasangan Sensor

Pada proses ini sensor yang digunakan yaitu ADXL345. Sensor ini memiliki delapan pin yaitu pin gnd, vcc, cs, int1, int2, sdo, sca, dan sdl. Vcc dihubungkan

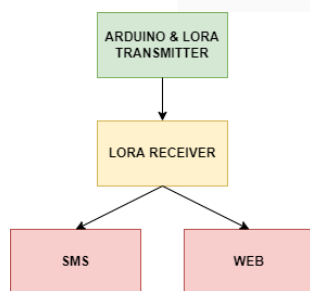
ke pin vcc 5v, pin scl dihubungkan ke pin scl pada Arduino, pin sda dihubungkan ke pin sda pada Arduino dan yang terakhir pin ground dihubungkan ke pin ground Arduino. Dan untuk pin sdo yang digunakan disini berbeda, sdo merupakan (Serial Data

Output). Sdo disini digunakan sebagai alternatif address. Pada sensor getaran pin sdo dihubungkan ke pin vcc 5v dan untuk sensor kemiringan pin sdo dihubungkan ke pin gnd, yang mana pada alat tugas akhir ini menggunakan dua sensor yang sama, apabila tidak dilakukan seperti cara di atas, sensor sulit membaca nilai, dan nilai nilai akan saling bertabrakan dan membuat nilai bacaan sensor menjadi error ataupun mengikuti salah satu nilai.

2. Pembacaan Data Sensor

Sensor membaca data sesuai dengan fungsinya. Sensor ADXL345 membaca data nilai kemiringan pada pinggir sungai dan membaca nilai getaran pada tanah. Setelah data telah melebihi ambang batas yang dibaca oleh sensor maka data tersebut dikirimkan dari LoRa transmitter ke Lora receiver, dan dari LoRa receiver dikirim lagi melalui sms dan ke web. Proses tersebut terjadi berulang-ulang Ketika sensor selalu melebihi nilai ambang batas yang sudah diterapkan pada program yang dibuat di Arduino IDE.

3. Kirim Data LoRa Transmitter



Gambar 3.5 Kirim Data LoRa Transmitter

Data yang dikirimkan meliputi dari dua data dalam bentuk string ke LoRa receiver. Data yang dikirim berupa nilai ambang batas dari sudut kemiringan dalam satuan derajat, dan nilai ambang batas dari getaran dalam satuan SR. LoRa yang digunakan memiliki frekuensi 915 Mhz. Kedua LoRa memiliki frekuensi yang sama, dan apabila LoRa memiliki Frekuensi yang berbeda terjadi LoRa tidak bisa mengirim data maupun tidak dapat menerima data.

4. Jarak Komunikasi Data LoRa

Komunikasi LoRa transmitter dan LoRa receiver dilakukan dengan jarak yang bervariasi dengan jarak ukur antara LoRa berkisar 200 meter, 400 meter, 600 meter, 800 meter, 1 km. Ini dilakukan untuk mengetahui apakah dengan jarak-jarak tersebut bisa dan dapat melakukan pengiriman serta menerima data.

E. Spesifikasi komponen

Untuk Spesifikasi komponen dapat dilihat pada Tabel 1 Spesifikasi Perangkat Keras. Perangkat keras yang digunakan pada tugas akhir ini meliputi, sensor ADXL345, Arduino UNO, LoRa Arduino Shield, LCD I2C.

Tabel 1 Spesifikasi Perangkat Keras

No	Perangkat Keras	Spesifikasi
1	Sensor ADXL345	1. Tegangan kerja : 2 V ~ 3.6 V 2. Ultra low power, 40 uA saat pengukuran, 0.1 uA saat standby (pada 2.5V) 3. Tap / Double Tap detection 4. Free Fall detection 5. Interface : SPI dan I2C 6. Module supply voltage range: 4.0 V to 6 V 7. SPI (3- and 4-wire) and I2 8. Single tap/double-tap detection
2	Arduino UNO	1. Mikrokontroler AT mega 328 2. Catu Daya 5V 3. Tegangan Input (rekom -endasi) 7-12V 4. Tegangan Input (bata-san) 6-20V 5. Pin I/O Digital 14 (dengan 6 PWM output) 6. Pin Input Analog 6 7. Arus DC per Pin I/O 40 mA 8. Arus DC per Pin I/O untuk PIN 3.3V 50 mA

3	LoRa Arduino Shield	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maximum link budget 168 dB 2. Constant RF output +20 dBm - 100 mW 3. High efficiency PA +14 dBm 4. Programmable bit rate up to 300 Kbps 5. High sensitivity down to -148 dBm
4	LCD I2C	<ol style="list-style-type: none"> 1. Power : DC 5V. 2. Support LCD 1602 dan 2004 (LCD 16x2, LCD 16x4) 3. Kontrol pin : SDA dan SCL. 4. Built-in potensio untuk adjust brightness. 5. Built-in jumper untuk menon-aktifkan backlight.

Tabel 2 Spesifikasi Perangkat Lunak

No	Perangkat Lunak	Versi	Keterangan
1	Arduino IDE	1.8.57	Sebagai aplikasi program perintah sensor ADXL345 dan LoRa yang di hubungkan dengan Arduino UNO
2	Windows 10	21H2	Sebagai pendukung aplikasi arduino IDE untuk menjalankan dan pembuat program pada sistem proyek ini

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Pengujian ADXL345 untuk Sensor Getaran

Adapun Tabel 3 dibawah ini merupakan

tabel pengujian nilai sensor ADXL345 untuk sensor getaran. Yang berguna untuk mengetahui nilai sensor tersebut

Tabel 3 Tabel Pengujian Nilai Getaran

PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN GETARAN	STATUS
1	2.22 SR	Berhasil
2	1.87 SR	Berhasil
3	1.98 SR	Berhasil
4	4.56 SR	Berhasil
5	3.01 SR	Berhasil
PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN GETARAN	STATUS
6	2.49 SR	Berhasil
7	5.08 SR	Berhasil
8	3.69 SR	Berhasil
9	2.27 SR	Berhasil
10	4.00 SR	Berhasil
11	3.33 SR	Berhasil
12	1.78 SR	Berhasil
13	2.99 SR	Berhasil
14	4.76 SR	Berhasil
15	5.02 SR	Berhasil

B. Pengujian ADXL345 untuk Sensor Kemiringan

Tabel 4 Tabel Pengujian Nilai Kemiringan

Pengujian	Hasil Sensor (°)	Sudut Busur (°)	Nilai Error (%)	Keterangan
1	0	0	0	Sesuai
2	10	10	0	Sesuai
3	20	20	0	Sesuai
4	30	30	0	Sesuai

5	40	40	0	Sesuai
6	50	50	0	Sesuai
7	60	60	0	Sesuai
8	70	70	0	Sesuai
9	81	80	1.25	Tidak Sesuai
10	91	90	1.11	Tidak Sesuai
Rata-rata Error			0.236	

Pada Tabel 4 mengambil data hasil pengujian kemiringan pada Tabel 4.2 untuk menghitung rata-rata *error* dan nilai *error* maka perhitungannya seperti berikut

$$\text{Nilai Error} = \frac{81-80}{80} \times 100\%$$

$$\text{Nilai Error} = 1.25\%$$

$$\text{Rata-rata Error} = \frac{0+0+0+0+0+0+0+0+1.25+1.11}{10}$$

$$\text{Rata-rata Error} = 0.236$$

Dengan pengujian tersebut data diketahui sensor ADXL345 kemiringan memiliki nilai rata-rata *error* 0.236%.

C. Pengujian Simulasi Kedua Sensor ADXL345 pada Arduino UNO

Adapun Tabel 5 dibawah ini merupakan tabel pengujian nilai sensor ADXL345 getaran dan sensor ADXL345 kemiringan. Yang berguna untuk mengetahui nilai apabila melebihi ambang batas.

Tabel 5 Tabel Pengujian Nilai Getaran dan Nilai Kemiringan

Pengujian	Getaran (SR)	Kemiringan (°)	Keterangan
1	0.06 SR	1.95°	Tidak Terjadi Longsor
2	1.77 SR	29.89°	Tidak Terjadi Longsor
3	4.66SR	21.45°	Tidak Terjadi Longsor
4	3.69 SR	48.50°	Terjadi Longsor
5	2.15 SR	54.90°	Terjadi Longsor
6	5.30 SR	55.94°	Terjadi Longsor
Pengujian	Getaran (SR)	Kemiringan (°)	Keterangan
7	5.04 SR	50.55°	Terjadi Longsor
8	2.85 SR	60.15°	Terjadi Longsor
9	3.83 SR	60.95°	Terjadi Longsor
10	6.20 SR	71.89°	Terjadi Longsor

D. Pengujian LoRa

Tabel 6 di bawah ini merupakan tabel pengujian pengiriman data dari *transmitter*. Yang mana data tersebut dikirimkan dari *transmitter* ke *receiver*.

Tabel 6 Tabel Pengujian Data *Transmitter* pada *Line of sight*

Jarak (m)	Tampilan data yang dikirim	Keterangan
200	Getaran Tanah : 4.55 SR Kemiringan Tanah : 54.05 ° -LONGSOR TERDETEKSI!!!- Nilai SR Getaran Tanah : 4.55 SR Nilai Kemiringan Tanah : 54.05 °	Pengiriman data sensor berhasil dilakukan
400	Getaran Tanah : 2.74 SR Kemiringan Tanah : 51.38 ° -LONGSOR TERDETEKSI!!!- Nilai SR Getaran Tanah : 2.74 SR Nilai Kemiringan Tanah : 51.38 °	Pengiriman data sensor berhasil dilakukan
600	Getaran Tanah : 2.15 SR Kemiringan Tanah : 59.74 ° -LONGSOR TERDETEKSI!!!- Nilai SR Getaran Tanah : 2.15 SR Nilai Kemiringan Tanah : 59.74 °	Pengiriman data sensor berhasil dilakukan
800	Getaran Tanah : 2.81 SR Kemiringan Tanah : 48.74 ° -LONGSOR TERDETEKSI!!!- Nilai SR Getaran Tanah : 2.81 SR Nilai Kemiringan Tanah : 48.74 °	Pengiriman data sensor berhasil dilakukan
1000	Getaran Tanah : 3.38 SR Kemiringan Tanah : 54.00 ° -LONGSOR TERDETEKSI!!!- Nilai SR Getaran Tanah : 3.38 SR Nilai Kemiringan Tanah : 54.00 °	Pengiriman data sensor berhasil dilakukan

Tabel 7 di bawah ini merupakan tabel pengujian penerimaan data dari receiver. Yang mana data tersebut diterima oleh LoRa receiver.

Tabel 7 Tabel Pengujian Data Receiver pada Line of sight

Jarak (m)	Kekuatan Sinyal (dB)	Delay pengiriman (detik)	Titik Tx ke Rx
200	-49	1	LoRa Receiver LoRa Initializing OK! Modem SMS Initializing OK! Received packet '0 LONGSOR TERDETEKSI, Nilai SR Getaran Tanah : 4.55 SR , Nilai Kemiringan Tanah : 54.05 Derajat SMS send to ="082276141624" ' with RSSI -49
400	-96	2	LoRa Receiver LoRa Initializing OK! Modem SMS Initializing OK! Received packet '0 LONGSOR TERDETEKSI, Nilai SR Getaran Tanah : 2.74 SR , Nilai Kemiringan Tanah : 51.38 Derajat SMS send to ="082276141624" ' with RSSI -96
600	-106	3	LoRa Receiver LoRa Initializing OK! Modem SMS Initializing OK! Received packet '0 LONGSOR TERDETEKSI, Nilai SR Getaran Tanah : 2.15 SR , Nilai Kemiringan Tanah : 59.74 Derajat SMS send to ="082276141624" ' with RSSI -106
800	-107	3	LoRa Receiver LoRa Initializing OK! Modem SMS Initializing OK! Received packet '0 LONGSOR TERDETEKSI, Nilai SR Getaran Tanah : 2.81 SR , Nilai Kemiringan Tanah : 48.74 Derajat SMS send to ="082276141624" ' with RSSI -107
1000	-115	5	LoRa Receiver LoRa Initializing OK! Modem SMS Initializing OK! Received packet '0 LONGSOR TERDETEKSI, Nilai SR Getaran Tanah : 3.38 SR , Nilai Kemiringan Tanah : 54.00 Derajat SMS send to ="082276141624" ' with RSSI -115

Adapun Tabel 8 di bawah ini merupakan tabel pengujian penerimaan data dari receiver, yang mana data tersebut dilakukan terus sejauh 1 km dan dapat diterima oleh LoRa receiver.

Tabel 8 Tabel Pengujian Data Jarak 1000 meter

Pengujian	Jarak (m)	Kirim Data	Data Tersampaikan	Delay (s)	Status
1	1000	14.40.21	14.40.23	2	Berhasil
2	1000	14.41.10	14.41.13	3	Berhasil
3	1000	14.42.11	14.42.16	5	Berhasil
4	1000	14.43.34	14.43.37	3	Berhasil
5	1000	14.43.57	14.43.59	2	Berhasil

6	1000	14.45.01	14.45.05	4	Berhasil
7	1000	14.46.03	14.46.06	3	Berhasil
8	1000	14.47.15	14.47.18	3	Berhasil
9	1000	14.48.09	14.48.12	3	Berhasil
10	1000	14.49.11	14.49.13	2	Berhasil
11	1000	14.50.54	14.50.55	1	Berhasil
12	1000	14.51.39	14.51.42	3	Berhasil
13	1000	14.52.44	14.52.48	4	Berhasil
14	1000	14.53.13	14.53.15	2	Berhasil
15	1000	14.54.02	14.54.04	2	Berhasil
16	1000	14.55.00	14.55.02	2	Berhasil
17	1000	14.56.16	14.56.18	2	Berhasil
18	1000	14.57.03	14.57.06	3	Berhasil
19	1000	14.58.48	14.58.51	3	Berhasil
20	1000	14.59.00	14.59.05	5	Berhasil
21	1000	15.00.10	15.00.16	6	Berhasil
22	1000	15.01.10	15.01.15	5	Berhasil
23	1000	15.02.05	15.02.10	5	Berhasil
24	1000	15.03.33	15.03.35	2	Berhasil
25	1000	15.04.24	15.04.26	2	Berhasil
26	1000	15.05.58	15.05.59	1	Berhasil
27	1000	15.06.28	15.06.31	3	Berhasil
28	1000	15.07.44	15.07.47	3	Berhasil
29	1000	15.08.39	15.08.41	2	Berhasil
30	1000	15.09.05	15.09.10	5	Berhasil
Rata - rata				91	

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dihitung nilai rata - rata *delay*. Perhitungan rata - rata *delay* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata delay} &= \frac{\text{total waktu delay}}{\text{total waktu paket yang diterima}} \\ \text{Rata - rata delay} &= \frac{91}{30} \\ \text{Rata - rata delay} &= 3,033 \end{aligned}$$

Lalu, dapat dihitung tingkat persentase *packet loss* pada pengiriman data antara *transmitter* dan *receiver*. Untuk menghitung persentase *packet loss* dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{packet loss} &= \frac{\text{paket yang dikirim} - \text{paket yang diterima}}{\text{paket yang dikirim}} \times 100\% \\ \text{packet loss} &= \frac{30-30}{30} \times 100\% = 0\% \end{aligned}$$

E. Hasil dan Analisis Perangkat Keras
Sensor yang digunakan untuk mengambil data terdiri dari satu sensor yang sama yaitu Sensor ADXL345. Yang dimana untuk pengujian sensor ADXL345 terdiri dari pengujian nilai kemiringan dan getaran pada tanah. Pada rangkaian sistem, sensor ADXL345 yang terdapat dalam sistem LoRa *transmitter*, berfungsi untuk mendeteksi nilai getaran tanah dan nilai kemiringan tanah. Kemudian LoRa *transmitter* mengirimkan data ke LoRa *receiver*. Setelah itu LoRa

receiver mengirimkan notifikasi SMS kepada nomor penerima melalui modul SIM 800L dan bersamaan menyimpan data nilai getaran tanah dan nilai kemiringan tanah ke database *Firestore*, dan data *realtime* yang sudah tersimpan di *Firestore* ditampilkan pada *website* monitoring bencana longsor.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis dapat disimpulkan bahwa:

1. Seluruh sensor dapat berjalan dengan lancar dan semestinya dengan kemampuan sensor yang membaca nilai getaran dan nilai kemiringan.
2. Sensor ADXL345 untuk membaca getaran berhasil dan tidak memiliki nilai error dikarenakan nilai-nilai dari sensor ADXL345 getaran sudah dihitung dengan rumus dan menghasilkan nilai mutlak.
3. Sensor ADXL345 untuk membaca kemiringan memiliki nilai error rata-rata 0,236%.
4. Pada pengujian simulasi tanah longsor nilai rata-rata kemiringan terjadi longsor diatas nilai sudut kemiringan 45° sesuai nilai keluaran sensor
5. Pengujian jaringan LoRa dengan 5 variasi jarak mulai dari 200 meter, 400 meter, 600 meter, 800 meter, 1 km keseluruhan data dapat diterima dengan baik oleh LoRa Receiver.
6. Rentang waktu pengiriman data tercepat berada pada pengujian dengan variasi jarak 200 meter, 400 meter, 600 meter, 800 meter, 1 km keseluruhan penerimaan data hanya membutuhkan waktu sekitar 1- 5 detik.
7. Pengujian Jaringan LoRa dengan jarak 1 Kilometer dari ujung komplek Batununggal dengan kondisi lingkungan tidak terhalang apapun memiliki nilai rata-rata *delay* 3,033 detik dan memiliki nilai *packet loss* 0%.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya agar sistem yang dibuat dapat ditingkatkan diantaranya:

1. Menggunakan modul LoRa yang memiliki frekuensi yang sesuai dengan lokasi di Indonesia.
2. Pada pengembangan selanjutnya menambahkan *gateway* agar sensor bisa dipasangkan di beberapa titik lokasi.
3. Melakukan pengujian LoRa dari jarak 2 Km, 3 Km, 4 Km, 5 Km, dan 6 Km di karenakan pihak Telkom DDS mengklaim jangkauan maksimal jaringan LoRa yaitu di bawah 6 Km.

REFERENSI

- [1] F. Fatiatun, F. Firdaus, S. Jumini, and N. P. Adi, "Analisis Bencana Tanah Longsor Serta Mitigasinya," *SPEKTRA J. Kaji. Pendidik. Sains*, vol. 5, no. 2, p. 134, 2019.
- [2] P. Reichenbach, M. Rossi, B. D. Malamud, M. Mihir, and F. Guzzetti, "A review of statistically-based landslide susceptibility models," *Earth-Science Rev.*, vol. 180, pp. 60–91, May 2018.
- [3] E. Billah, "Pengertian dan Tahap Metode SDLC Waterfall | by Ersandi Billah | Medium." [Online]. Available: <https://medium.com/@ersandibillah/03/sdlc-waterfall-3a3c893be77b>. [Accessed: 30-Jan-2022].
- [4] S. Chen, Z. Miao, L. Wu, and Y. He, "Application of an Incomplete Landslide Inventory and One Class Classifier to Earthquake-Induced Landslide Susceptibility Mapping," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 13, pp. 1649–1660, 2020.
- [5] VSI (Vulcanological Survey of Indonesia), "Pengenalan Gerakan Tanah Longsor."
- [6] Hary Christady Hardiyatmo, "Tanah longsor dan erosi: kejadian dan penanganan." [Online]. Available: <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=1059055>. [Accessed: 01-Feb-2022].
- [7] "Mengenal Tanah Longsor: Jenis-Jenis dan Penyebabnya | Rumah.com." [Online]. Available: <https://www.rumah.com/panduan-properti/longsor-adalah-58432>. [Accessed: 01-Feb-2022].
- [8] A. S. Gillis, "Internet of Things." [Online]. Available: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>. [Accessed: 30-Jan-2022].
- [9] NN-DIGITAL.COM, "Modul Accelerometer ADXL345." [Online]. Available: <https://ecadio.com/jual-adxl345>. [Accessed: 30-Jan-2022].
- [10] Il. Media, "Arduino UNO." [Online]. Available: <https://illearning.me/sample-page-162/arduino/pengertian-arduino-uno/>. [Accessed: 30-Jan-2022].
- [11] LoRaWAN, "LoRa-alliance." [Online]. Available: <https://loro-alliance.org/about-lorawan/>. [Accessed: 11-Feb-2022].
- [12] DRAGINO, "Lora Shield - Wiki for

- Dragino Project.” [Online]. Available: https://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora_Shield. [Accessed: 30-Jan-2022].
- [13] A. Rahmat, “LCD i2C 16x2 Menggunakan Arduino.” [Online]. Available: <https://kelasrobot.com/cara-simple-program-lcd-i2c-16x2-menggunakan-arduino/>. [Accessed: 30-Jan-2022].
- [14] AllGoBlog.com, “Apa itu Arduino IDE dan Arduino Sketch? - AllGoBlog.com - AllGoBlog.com.” [Online]. Available: <http://allgoblog.com/apa-itu-arduino-ide-dan-arduino-sketch/>. [Accessed: 30-Jan-2022].
- [15] Sinau, “Mengenal Arduino Software (IDE) – SinauArduino.” [Online]. Available: <https://www.sinauarduino.com/artikel/mengenal-arduino-software-ide/>. [Accessed: 30-Jan-2022].
- [16] A. A. Putra and M. Irawaty, “Penerapan Sensor Accelerometer Untuk Membandingkan Gempa Data Bmkg Dan Google Earthquake Pada Perangkat Smartphone Android,” *Compiler*, vol. 3, no. 2, pp. 33–40, 2014.
- [17] Wikihow, “Mengubah Radian Menjadi Derajat.” [Online]. Available: <https://id.wikihow.com/Mengubah-Radian-Menjadi-Derajat>. [Accessed: 11-Feb-2022].
- [18] Geek Mom Projects, “Gyroscopes and Accelerometers on a Chip ADXL345.” [Online]. Available: <https://www.geekmomprojects.com/gyroscopes-and-accelerometers-on-a-chip/>. [Accessed: 11-Feb-2022].

